

PENGARUH SISTEM PENTANAHAN NETRAL PADA PERHITUNGAN ARC FLASH DI PT. ANTAM (PERSERO) TBK POMALAA

Firilia Filiana, Margo Pujiantara, Dedet Candra Riawan.

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

E-mail: firilia13@mhs.ee.its.ac.id, margo@ee.its.ac.id, dedet@ee.its.ac.id

Abstrak— Gangguan yang sering terjadi di sistem tenaga listrik ialah gangguan hubung singkat seperti hubung singkat tiga fasa, satu fasa dan antar fasa. Gangguan ini dapat menimbulkan gangguan lain yaitu busur api (*arc flash*). Energi dari kejadian ini akan menimbulkan kerusakan dan bahaya bagi manusia dan peralatan. Salah satu standar yang digunakan untuk perhitungan energi busur api ialah Standar IEEE 1584 – 2002. Berdasarkan standar tersebut, salah satu variabel yang sangat berpengaruh ialah *bolted fault current* atau arus gangguan. Arus gangguan yang terjadi bisa sangat besar di bandingkan dengan nilai arus nominal saat sistem dalam keadaan normal. Khusus untuk gangguan ke tanah, salah satu cara mengurangi arus tersebut ialah dengan menggunakan pentanahan netral. Pentanahan ini akan mengurangi arus gangguan ke tanah, sehingga energi busur api yang terjadi saat gangguan juga akan turun. Gangguan satu fasa ke tanah adalah gangguan yang sering terjadi. Penambahan tahanan pada pentanahan ini akan menghasilkan perlindungan kepada peralatan saat terjadi gangguan dan mengurangi kerusakan akibat energi busur api satu fasa.

Kata Kunci— *bolted fault current*, energi busur api, pentanahan netral, Standar IEEE 1584 – 2002,

I. PENDAHULUAN

Sistem kelistrikan saat ini dilengkapi dengan berbagai sistem proteksi untuk meningkatkan keandalannya. Beberapa gangguan yang terjadi di sistem tenaga listrik ialah gangguan hubung singkat baik satu fasa, dua fasa maupun tiga fasa. Tindakan pengamanan yang dilakukan adalah dengan menggunakan rele pengaman. Rele – rele ini akan dikoordinasi untuk mengamankan sistem kelistrikan sesuai dengan prioritasnya.

Selain gangguan hubung singkat, gangguan lain yang dapat terjadi ialah gangguan akibat busur api. Busur api sendiri dapat diartikan sebagai ‘Pelepasan panas dan energi cahaya yang disebabkan oleh kerusakan listrik dan selanjutnya discharge (pengosongan muatan) listrik melalui isolator listrik seperti udara’[1]. Kejadian busur api yang sering terjadi menghasilkan bahaya yang tinggi baik pada peralatan maupun pada pekerja.

Perhitungan busur api dipengaruhi oleh beberapa parameter. Salah satu parameter yang berpengaruh ialah arus gangguan. Arus gangguan memiliki nilai yang melebihi arus nominal yang dapat tahan oleh peralatan. Salah satu cara mengatasi arus gangguan satu fasa adalah menggunakan

sistem pentanahan. Perubahan nilai arus ini akan menyebabkan energi busur api juga berubah.

II. SISTEM PENGAMAN TENAGA LISTRIK DAN BUSUR API

A. Gangguan pada Sistem Tenaga

Gangguan didefinisikan sebagai suatu kondisi fisis yang disebabkan kegagalan suatu perangkat, komponen, atau suatu elemen untuk bekerja sesuai dengan fungsinya. Gangguan hampir selalu ditimbulkan oleh hubung singkat antar fase atau hubung singkat fase ke tanah. Suatu gangguan hampir selalu berupa hubung langsung atau melalui impedansi. Istilah gangguan identik dengan hubung singkat.

Hubung singkat dapat terjadi karena konduktor terhubung dengan impedansi di jaringan. Gangguan hubung singkat dalam sistem tenaga listrik dibagi menjadi gangguan tiga fasa simetri, dan gangguan tidak simetri. Jenis – jenis gangguan tidak simetri adalah satu fasa ke tanah, gangguan antar fasa dan gangguan dua fasa ke tanah. Gangguan hubung singkat ini akan memberikan informasi untuk menentukan *setting* rele yang tepat dan koordinasinya.

Arus hubung singkat memiliki besaran berkali – kali lebih besar dari arus beban. Adanya arus hubung singkat ini membuat konduktor lebih panas. Arus hubung singkat yang tinggi yang melalui impedansi sistem dapat mengakibatkan tegangan rendah yang membahayakan peralatan. Akhirnya pada titik hubung singkat sendiri, terjadi pelepasan energi dalam bentuk busur, jika tidak diperbaiki dapat memulai kebakaran[2].

B. Busur Api

Busur dapat dimulai dengan beberapa cara:

- Ketika tegangan antara dua titik melebihi kekuatan dielektrik dari udara. Ini bisa terjadi ketika tegangan lebih karena sambaran petir atau terjadi surja karena switching.
- Ketika udara menjadi sangat panas dengan aliran arus melewati beberapa konduktor. Contohnya, jika kawat yang sangat halus dikenakan ke arus berlebih, kawat akan meleleh, udara super panas dan menyebabkan mulainya busur.
- Ketika dua bagian kontak rusak saat menahan arus yang sangat tinggi[1].

Energi busur dilepaskan setidaknya dalam tiga bentuk cahaya, panas, dan mekanik. Busur api yang tidak segera ditangani dapat menyebabkan ledakan yang mengakibatkan kerusakan yang parah [1].

Energi api dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\lg E_n = K_1 + K_2 + 1.081 \lg I_a + 0.0011 G \quad (1)$$

$$E_n = 10^{\lg E_n} \quad (2)$$

$$E = 4.184 C_f E_n \left(\frac{t}{0.2} \right) \left(\frac{610^x}{D^x} \right) \quad (3)$$

Untuk level tegangan di atas 15 kV, jarak antar konduktor di luar batasan dari model, sehingga menggunakan Metode Lee untuk menentukan energi insidennya.

$$E = 2,142 \times 10^6 V I_{bf} \left(\frac{t}{D^2} \right) \quad (4)$$

Keterangan:

E_n = energi insiden normal untuk waktu dan jarak (J/cm^2)

K_1 = Konstanta (-0,792 untuk konfigurasi terbuka dan -0.555 untuk konfigurasi dalam ruang)

K_2 = Konstanta (0 untuk *ungrounded* dan HRG; -0.555 untuk *grounded system*)

G = jarak antar konduktor (mm) (Lihat Tabel 1)

E = energi insiden (J/cm^2)

C_f = faktor perhitungan (1.0 untuk tegangan dibawah 1 kV dan 1.5 untuk tegangan diatas atau sama dengan 1 kV)

E_n = Energi insiden normal

t = waktu terjadinya busur api (detik)

D = jarak dari titik busur api ke manusia (mm)

x = eksponen jarak (Lihat Tabel 1)

V = tegangan sistem (kV)

I_{bf} = *bolting fault current* (kA)

Nilai arus busur (I_a) untuk tegangan di bawah 1 kV dapat dihitung menggunakan rumus:

$$\lg I_a = K + 0.662 \lg I_{bf} + 0.0966 V + 0.000526 G + 0.5588 V (\lg I_{bf}) - 0.00304 G (\lg I_{bf}) \quad (5)$$

Untuk sistem tegangan 1000 V dan diatasnya menggunakan persamaan:

$$\lg I_a = 0.00404 + 0.983 \lg I_{bf} \quad (6)$$

Pengubahan bentuk \lg menjadi :

$$I_a = 10^{\lg I_a} \quad (7)$$

Keterangan:

\lg = \log_{10}

I_a = Arus busur (kA)

K = Konstanta (-0,153 untuk konfigurasi terbuka dan -0.097 untuk konfigurasi dalam ruang)

[2].

Tabel 1. Faktor untuk peralatan dan tingkat tegangan [2]

Tegangan Sistem (kV)	Jenis Peralatan	Jarak antar Konduktor (mm)	Faktor Jarak x
0.208 – 1	Udara terbuka	10 – 40	2.000
	Switchgear	32	1.473
	Mcc dan Panel	25	1.641
	Kabel	13	2.000
>1 – 5	Udara Terbuka	102	2.000
	Switchgear	13 – 102	0.973
	Kabel	13	2.000

Tegangan Sistem (kV)	Jenis Peralatan	Jarak antar Konduktor (mm)	Faktor Jarak x
>5 – 15	Udara Terbuka	13 – 153	2.000
	Switchgear	153	0.973
	Kabel	13	2.000

C. Rele Pengaman

Pengamanan terhadap gangguan hubung singkat pada sistem tenaga umumnya menggunakan rele pengaman. Rele arus lebih mendeteksi adanya gangguan hubung singkat fasa pada rangkaian. Untuk gangguan hubung singkat ke tanah akan dideteksi oleh *ground fault relay*. Saat rele mendeteksi adanya gangguan, rele akan memberi sinyal kepada pemutus untuk memutus jaringan yang bermasalah agar terisolir [3].

Setting rele pengaman terdiri dari setting arus dan setting waktu. Kedua setting ini akan menentukan koordinasi dari rele pengaman[3].

D. Sistem Pentanahan

Sistem pentanahan ialah sistem dari suatu konduktor di mana setidaknya satu konduktor atau titik (biasanya di tengah kabel dari titik netral trafo atau generator) yang dengan sengaja di tanahkan, baik menggunakan pentanahan solid atau melewati peralatan pembatas arus. Sementara sistem yang tidak ditanahkan tidak memiliki hubungan ke tanah, kecuali melewati indikator atau peralatan pengukuran[4].

Pentanahan dibagi menjadi dua macam yaitu pentanahan peralatan dan pentanahan sistem. Pentanahan peralatan hubungan ketanah bagian dari peralatan yang pada kerja normal tidak dilalui arus. Pentanahan sistem bertujuan untuk mengurangi atau menghilangkan busur tanah akibat busur listrik yang timbul saat gangguan. Pentanahan sistem juga membatasi tegangan pada fasa – fasa yang tak terganggu[3].

Metode dasar dari sistem pentanahan netral adalah: solid, *high resistance* atau *low resistance*, dan *high reactance* atau *low reactance*[4].

Pentanahan *solid* ialah pentanahan yang memiliki hubungan ke tanah tanpa adanya impedansi yang dengan sengaja di masukkan. *Resistance grounded* ialah pentanahan yang melewati sebuah impedansi, yang pada dasarnya komponen berupa tahanan. *Reactance grounded* ialah pentanahan yang juga melewati sebuah impedansi, tetapi dalam hal ini berupa komponen yang memiliki reaktansi[4].

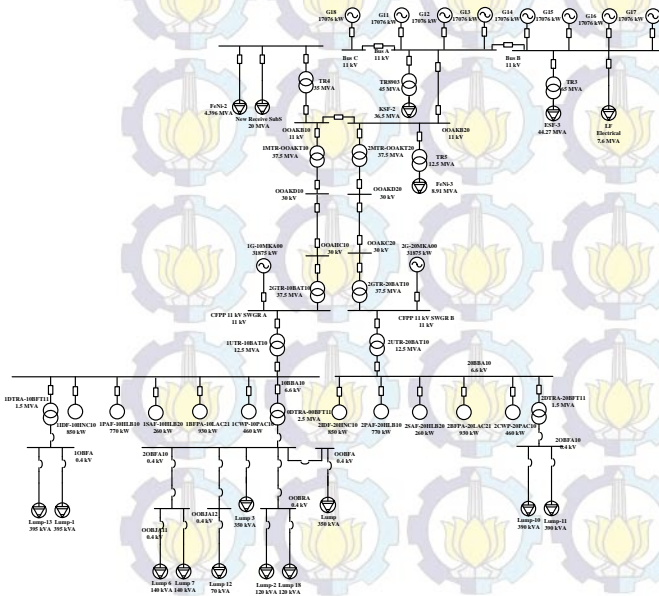
III. SISTEM KELISTRIKAN PT. ANEKA TAMBANG POMALAA

PT. Aneka Tambang Pomalaa merupakan perusahaan milik negara yang bergerak di bidang penambangan dan peleburan nikel. Pabrik ini menggunakan pembangkit sendiri untuk memenuhi kebutuhan energi listrik mereka. Sistem distribusi yang digunakan adalah sistem distribusi radial yang menyuplai beban motor dan *static*. Tegangan yang digunakan ialah 6,6 – 30 kV untuk tegangan menengah, dan 0,4 kV untuk tegangan rendah.

Perusahaan ini memiliki dua generator besar dengan kapasitas 31,7 MVA. Generator ini merupakan generator steam turbine. Selain itu juga terdapat beberapa generator

kecil dengan kapasitas 21,354 MVA, yang merupakan generator diesel.

Sistem distribusi yang digunakan ialah sistem distribusi radial dengan dua *feeder* utama yang dihubungkan oleh *switch*. Daya dari generator 1G-10MKA00 dan 2G-10MKA20 disalurkan ke bus 11 kV sesuai dengan tegangan generator dan selanjutnya diturunkan ke tegangan 6.6 kV. Selain itu, daya dari generator juga disalurkan ke saluran dengan tegangan 30 kV menggunakan trafo *step up*. Diujung saluran, tegangan ini akan diturunkan kembali ke tegangan 11 kV dan 6,6 kV untuk menyuplai beban besar. Beban – beban ini juga di suplai daya dari generator G11 sampai generator G18.



Gambar 1. Single Line Diagram PT. Aneka Tambang Pomalaa

IV. SIMULASI DAN ANALISIS

A. Energi Busur Api dengan Kondisi Eksisting

Perhitungan busur api di sistem ini dilakukan di level tegangan 0,4 kV, 6,6 kV, 11 kV, dan 30 kV. Perhitungan busur api di masing – masing level tegangan ialah sebagai berikut:

- a. Perhitungan energi busur api di bus dengan level tegangan dibawah 1kV (0,4 kV)

Bus 10BFA

$$\lg Ia = -0,097 + (0,662 \times 37,517) + (0,0966 \times 0,4) + (0,000526 \times 25) + (0,5588 \times 0,4 \times \lg 37,517) - (0,00304 \times 25 \times \lg 37,517) = 1,23$$

$$Ia = 10^{1,23} = 16,95 \text{ kA}$$

$$\lg En = -0,555 - 0,113 + (1,081 \times 1,23) + (0,0011 \times 25) = 0,688$$

$$En = 10^{0,688} = 4,878 \text{ J/cm}^2$$

$$E = 4,184 \times 1,5 \times 4,878 \times \left(\frac{0,502}{0,2} \right) \left(\frac{610^{1,641}}{457,2^{1,641}} \right) = 123,3303 \text{ J/cm}^2 = 29,977 \text{ cal/cm}^2$$

Untuk bus lain dapat dilihat dalam Tabel 2.

Tabel 2. Insiden Energi pada Level Tegangan 0,4 kV

ID Bus	Insiden Energi (cal/cm ²)
10BFA	29,977
00BFA	97,004
00BFA10	97,004
20BFA10	29,27
00BJA12	129,23
00BRA	108,786
00BJA11	128,784

- b. Perhitungan energi busur api di level tegangan 1-15 kV
Bus 00AKB10

$$\lg Ia = 0,00404 + (0,983 \times \lg 33,4) = 1,502$$

$$Ia = 10^{1,502} = 31,759 \text{ kA}$$

$$\lg En = -0,555 - 0,113 + (1,081 \times 1,502) + (0,0011 \times 153) = 1,124$$

$$En = 10^{1,124} = 13,299 \text{ J/cm}^2$$

$$E = 4,184 \times 1 \times 15,8613,2994 \times \left(\frac{0,36}{0,2} \right) \left(\frac{610^{0,973}}{914,4^{0,973}} \right) = 67,549 \text{ J/cm}^2 = 16,1145 \text{ cal/cm}^2$$

Tabel 3. Insiden Energi pada Level Tegangan 1 – 15 kV

ID Bus	Tegangan (kV)	Insiden Energi (cal/cm ²)
Bus A	11	33,444
Bus B	11	33,444
Bus C	11	33,444
00AKB10	11	16,1145
00AKB20	11	25,1137
CFPP 11 kV SWGR A	11	0,004
CFPP 11 kV SWGR B	11	0,004
10BBA10	6,6	0,06
20BBA10	6,6	0,12

- c. Perhitungan energi busur api dilevel tegangan di atas 15 kV (30 kV)

Bus 00AHD10

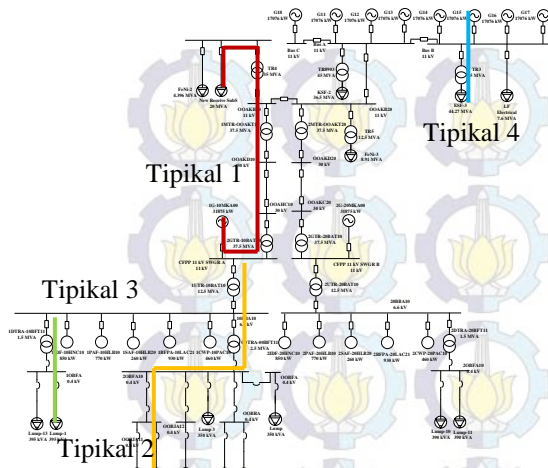
$$E = 2,142 \times 10^6 \times 30 \times 0,278 \left(\frac{0,36}{914,4^2} \right) = 7,692 \text{ J/cm}^2 = 1,839 \text{ cal/cm}^2$$

Tabel 4. Insiden Energi di Tegangan > 15 kV

ID Bus	Insiden Energi (cal/cm ²)
00AHD10	1,839
00AHD20	1,839
00AHC10	1,852
00AHC20	1,852

B. Resetting Rele Arus Lebih

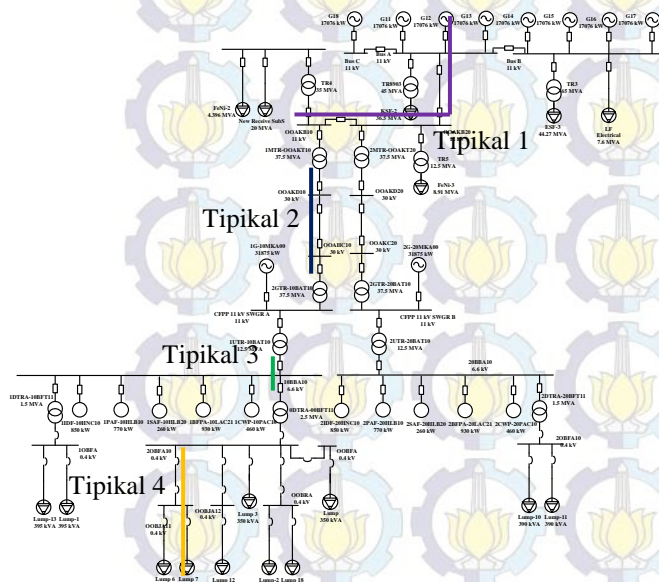
Resetting yang dilakukan mengambil empat tipikal yang dapat dilihat pada Gambar 2. *Resetting* dari empat tipikal di atas menghasilkan kurva *time-current* seperti pada Gambar 4 dan Gambar 5.



Gambar 2. Tipikal yang diambil untuk *resetting*

C. Setting Ground Fault Current setelah Penambahan Resistor

Perubahan *grounding* pada Trafo TR4 dari *solid* menjadi *high resistance* menyebabkan perubahan pada *setting Ground Fault Relay*. *Setting* yang dilakukan mengambil empat tipikal seperti pada Gambar 3 yang mewakili tiap level tegangan di PT. Aneka Tambang Pomalaa. Kurva *time-current* dari *ground fault relay* dapat dilihat pada Gambar 6 dan Gambar 7.



Gambar 3. Tipikal dari *setting Ground Fault Relay*

D. Busur Api setelah Penambahan Tahanan Pentanahan

Trafo TR4 di beri pentanahan *low resistance* yang umum digunakan di level tegangan menengah sebesar 400 A. Insiden energi yang dihasilkan ialah sebagai berikut:

- a. Perhitungan energi busur api di bus dengan level tegangan dibawah 1kV (0,4 kV)

Bus 10BFA

$$\begin{aligned} I_a &= -0,097 + (0,662 \times I_g 37,517) + (0,0966 \times 0,4) + \\ &+ (0,000526 \times 25) + (0,5588 \times 0,4 \times I_g 37,517) - \\ &+ (0,00304 \times 25 \times I_g 37,517) \\ &= 1,23 \end{aligned}$$

$$I_a = 10^{1,23} = 16,95 \text{ kA}$$

$$\begin{aligned} I_g E_n &= -0,555 - 0,113 + (1,081 \times 1,23) + (0,0011 \times 25) \\ &= 0,688 \end{aligned}$$

$$E_n = 10^{0,688} = 4,88 \text{ J/cm}^2$$

$$\begin{aligned} E &= 4,184 \times 1,5 \times 4,88 \times \left(\frac{0,14}{0,2}\right) \left(\frac{610^{1,641}}{457,2^{1,641}}\right) \\ &= 34,39 \text{ J/cm}^2 = 8,22 \text{ cal/cm}^2 \end{aligned}$$

Tabel 5. Insiden Energi pada Level Tegangan 0,4 kV

ID Bus	Insiden Energi (cal/cm ²)
10BFA	8,22
00BFA	11,32
00BFA10	35,61
20BFA10	18,07
00BJA12	1,32
00BRA	15,53
00BJA11	11,83

- b. Perhitungan energi busur api di level tegangan 1-15 kV
Bus 00AKB10

$$I_g I_a = 0,00404 + (0,983 \times I_g 1.038) = 0,02$$

$$I_a = 10^{0,2} = 1,047 \text{ kA}$$

$$\begin{aligned} I_g E_n &= -0,555 - 0,113 + (1,081 \times 0,2) + (0,0011 \times 153) \\ &= -0,478 \end{aligned}$$

$$E_n = 10^{0,478} = 0,333 \text{ J/cm}^2$$

$$\begin{aligned} E &= 4,184 \times 1 \times 0,333 \times \left(\frac{0,96}{0,2}\right) \left(\frac{610^{0,973}}{914,4^{0,973}}\right) \\ &= 4,5 \text{ J/cm}^2 = 1,08 \text{ cal/cm}^2 \end{aligned}$$

Tabel 6. Insiden Energi pada Level Tegangan 1 – 15 kV

ID Bus	Tegangan (kV)	Insiden Energi (cal/cm ²)
Bus A	11	1,08
Bus B	11	1,08
Bus C	11	1,08
00AKB10	11	0,63
00AKB20	11	0,85
CFPP 11 kV SWGR A	11	0,005
CFPP 11 kV SWGR B	11	0,005
10BBA10	6,6	0,21
20BBA10	6,6	0,21

- c. Perhitungan energi busur api di level tegangan di atas 15 kV (30 kV)

Bus 00AHD10

$$\begin{aligned} E &= 2,142 \times 10^6 \times 30 \times 0,278 \left(\frac{0,18}{914,4^2}\right) \\ &= 3,846 \text{ J/cm}^2 = 0,919 \text{ cal/cm}^2 \end{aligned}$$

Tabel 7. Insiden Energi pada Level Tegangan > 15 kV

ID Bus	Insiden Energi (cal/cm ²)
00AHD10	0,919
00AHD20	0,919
00AHC10	0,926
00AHC20	0,926

Selanjutnya pentanahan diganti dengan *high resistance* senilai 5 A. Nilai 5 A diperbolehkan karena telah berada di

atas nilai *line charging current* jaringan. Penggunaan tahanan ini menyebabkan perubahan nilai insiden energi busur api.

Untuk level tegangan rendah, nilai insiden energi busur api tidak mengalami perubahan karena hubungan pentanahannya terpisah dari Trafo TR4. Hal ini juga berlaku untuk bus di tegangan 30 kV, bus di 6,6 kV, bus CFPP SWGR A dan bus CFPP SWGR B. Perubahan insiden energi terjadi karena *resetting* yang dilakukan.

Nilai insiden energi pada bus 11 kV akibat penggunaan NGR 5 A dapat dilihat pada Tabel 8.

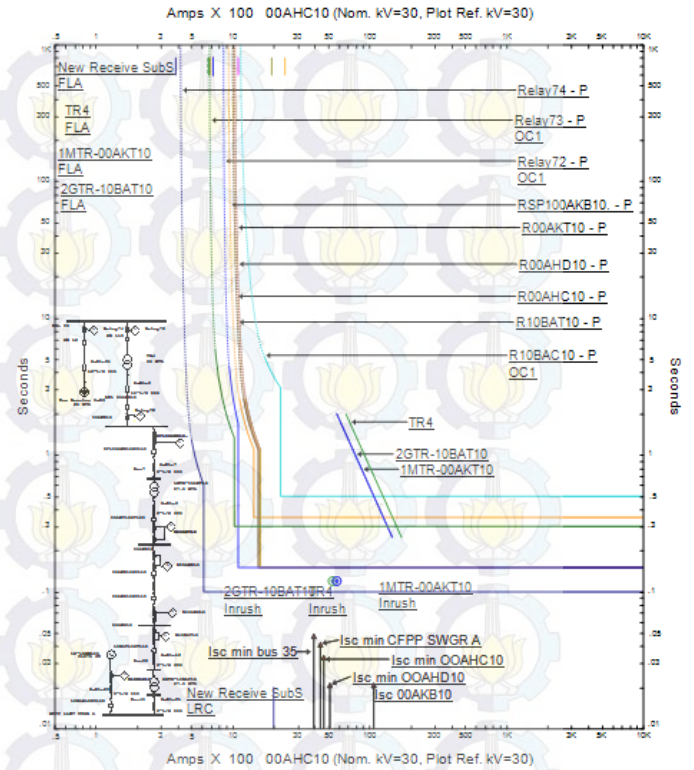
Tabel 8. Insiden Energi pada Level Tegangan 11 kV

ID Bus	Tegangan (kV)	Insiden Energi (cal/cm ²)
Bus A	11	0,84
Bus B	11	0,84
Bus C	11	0,84
00AKB10	11	0,49
00AKB20	11	0,67
CFPP 11 kV SWGR A	11	0,005
CFPP 11 kV SWGR B	11	0,005
10BBA10	6,6	0,21
20BBA10	6,6	0,21

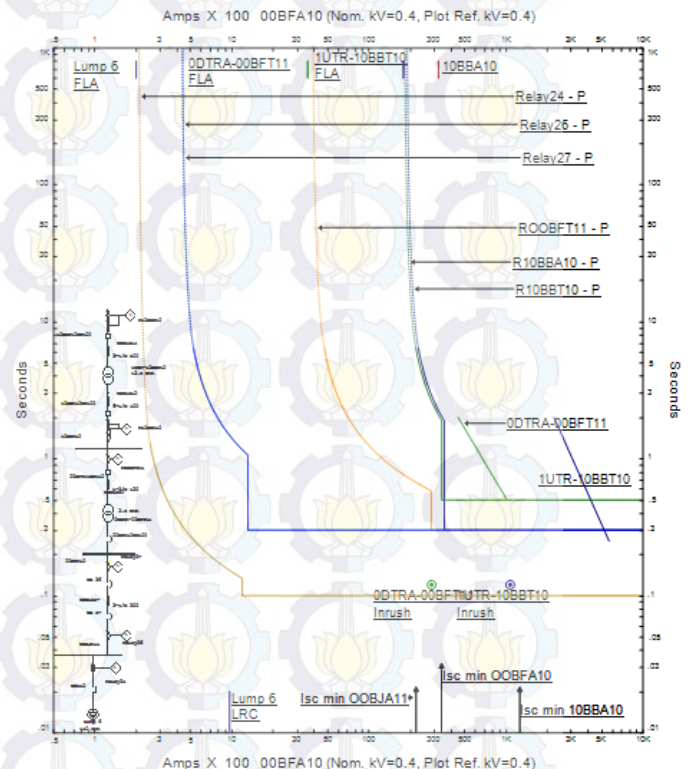
Perbandingan nilai insiden energi akibat *resetting* dan penambahan tahanan pada pentanahan dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Insiden Energi akibat *Resetting* dan Pentanahan

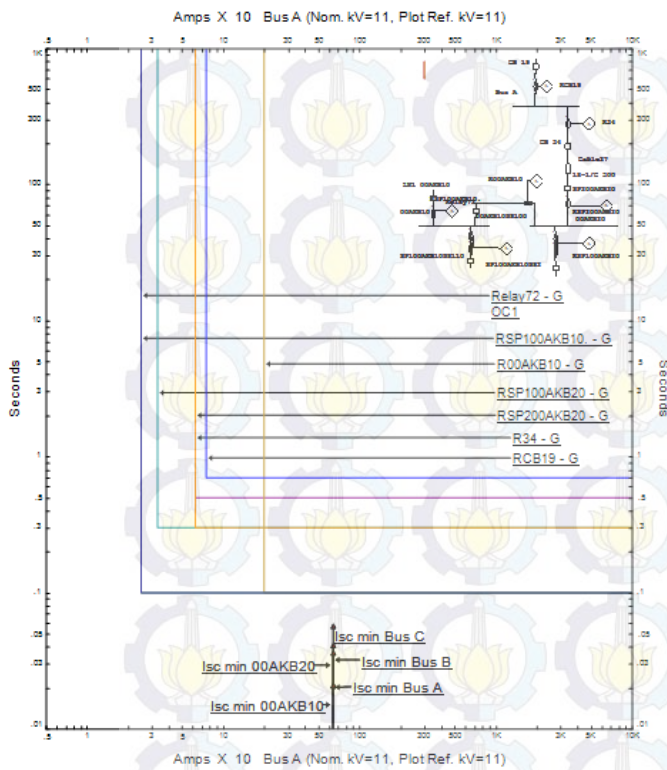
ID Bus	Tegangan (kV)	Eksisting	Insiden Energi (cal/cm ²)	
			<i>Resetting</i>	
			<i>Low resistance</i>	<i>High Resistance</i>
00AHD10	30	1,839	0,919	0,919
00AHD20	30	1,839	0,919	0,919
00AHC10	30	1,852	0,926	0,926
00AHC20	30	1,852	0,926	0,926
Bus A	11	33,444	1,08	0,84
Bus B	11	33,444	1,08	0,84
Bus C	11	33,444	1,08	0,84
00AKB10	11	16,1145	0,63	0,49
00AKB20	11	25,1138	0,85	0,67
CFPP 11 kV SWGR A	11	0,004	0,005	0,005
CFPP 11 kV SWGR B	11	0,004	0,005	0,005
10BBA10	6,6	0,06	0,21	0,21
20BBA10	6,6	0,12	0,21	0,21
10BFA	0,4	29,977	8,22	8,22
00BFA	0,4	97,004	11,32	11,32
00BFA10	0,4	97,004	35,61	35,61
20BFA10	0,4	29,27	18,07	18,07
00BJA12	0,4	129,23	1,32	1,32
00BRA	0,4	108,786	15,53	15,53
00BJA11	0,4	128,784	11,83	11,83



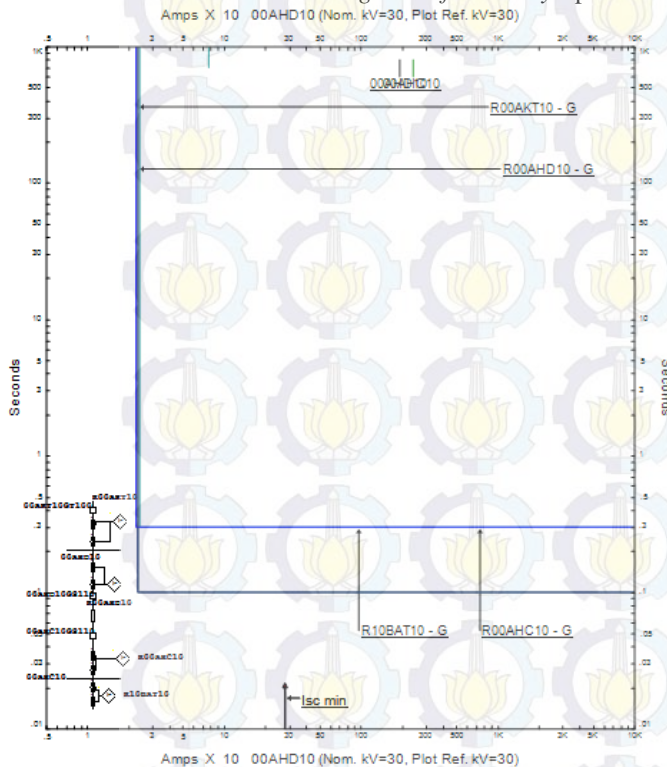
Gambar 4. Time-current curve tipikal 1 setelah *resetting*



Gambar 5. Time-current curve tipikal 2 setelah *resetting*



Gambar 6. Time-current curve ground fault relay tipikal 1



Gambar 7. Time-current curve ground fault relay tipikal 2

V. KESIMPULAN

Setelah dilakukan simulasi dan analisa, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Koordinasi proteksi yang merupakan syarat untuk analisa energi busur api belum terkoordinasi dengan baik,

sehingga perlu di lakukan *resetting* rele pengamanan fasa dan *ground*.

2. Penggantian pentanahan dari *solid* menjadi *high resistance* menyebabkan perubahan *setting ground fault relay*.
3. Energi busur api dengan menggunakan pentanahan eksisting yaitu pentanahan *solid*, menghasilkan energi busur api yang tinggi, misalnya di bus A yang nilainya mencapai 33,44 Cal/cm² dan di bus 00AKB10 yang bernilai 16,14 cal/cm².
4. Penambahan tahanan pada titik netral trafo, yang menghasilkan arus netral sebesar 400 A dapat mengurangi nilai energi insiden busur api menjadi 1,07 cal/cm² pada bus A dan menjadi 0,63 cal/cm² pada bus 00AKB10.
5. Penambahan *high resistance* sebesar 5 A pada titik netral trafo akan menurunkan nilai energi insiden busur api lebih rendah dibandingkan *low resistance* sebesar 400 A.
6. Penurunan nilai energi insiden busur api akan meningkatkan perlindungan terhadap peralatan terhadap gangguan satu fasa yang sering terjadi di tempat kerja.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Cadick, J., Schellpfeffer, M.P., dan Neitzel, D.K., "Electrical Safety Handbook", McGraw-Hill Companies, Inc, USA, Ch. 1, 2006
- [2] IEEE Std 242-2001, "IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems", The Institute of Electrical and electronics Engineers, Inc., New York, Ch. 15, 2001.
- [3] Wahyudi, "Diktat Kuliah Sistem Pengaman", Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2014
- [4] Lazar, I., "Electrical Systems Analysis and Design for Industrial Plants", McGraw-Hill Companies, Inc, USA, Ch. 6, 1980